

УДК 504:62:330:36.001.8

В.Б.ХАЗАН, канд. техн. наук, міжнародний центр "ЕКОСТАР"**П.В.ХАЗАН**, інженер II категорії відділу екологічного нормування Інституту проблем природокористування та екології НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НА ПІДСТАВІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ

Розглянуто проблему ризиків як одну з найважливіших у парадигмі сталого розвитку. Запропоновано шляхи та методи систематизації, структуризації та оцінки ризиків на основі фундаментальної математики.

Ключові слова: екологічно сталий розвиток, екологічна безпека, екологічний ризик, теорія множин, теорія ймовірностей.

Вступ

Проблема забезпечення екологічної сталості (sustainability) соціально-економічного розвитку в техногенно-навантажених регіонах може бути вирішена тільки в рамках системно розробленої програми, яка має активно підтримуватися усіма суспільними силами. Звичайно, для формування системи необхідна чітка систематизація термінології, яка стане основою концептуальної структури вивчення безпеки в контексті парадигми екологічно сталого розвитку (sustainable development). Через деяке неоднозначне трактування термінів у вітчизняній науковій літературі, даватимемо їх англійській аналог (Відповідно до Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. 6th edition. Oxford University press, Oxford, 2000).

Екологічно сталий розвиток (sustainable development), відповідно до загальноприйнятого визначення, є такий розвиток, при якому користування всіма благами земного життя нинішнім поколінням людей не повинне позбавляти можливості майбутнім поколінням користатися тими ж благами [1].

Якщо окреслити можливий напрямок дослідження екологічної сталості, спираючись на фундаментальні основи фізики та математики, то екологічно сталий розвиток – це такий розвиток суспільства в умовах певного довкілля, коли матеріально-енергетичний обмін між ними забезпечує безперервний та необмежений у часі розвиток цивілізації. Екологічна сталість (sustainability) розуміється, таким чином, як вимога збереження ком-

фортних умов життєдіяльності людей на Землі на необмежений час.

Термін екологічна безпека (environmental safety) зазвичай відносять до життєдіяльності нинішніх генерацій. Безпека – це відсутність небезпеки не тільки для життя людини, але і для всіх аспектів її життєдіяльності. В практичному використанні безпекою вважають "відсутність неприпустимої небезпеки". Взагалі небезпеку можна звести до трьох варіантів [2] – це космічна небезпека, глобальний військовий конфлікт і глобальна екологічна катастрофа. Останній варіант небезпеки є граничним виразом екологічної небезпеки. Яку величину небезпеки варто вважати припустимою - це питання, що потребує окремого дослідження. Використовуючи тепер це поняття, можна сформулювати розуміння безпеки як "відсутність неприпустимого ризику". Величина припустимого, тобто прийнятного суспільством, ризику для різних видів небезпеки є важливою характеристикою рівня життя.

В роботі [3] доведено, що ризик, створюваний джерелом небезпеки на об'єкт, дорівнює математичному чеканню шкоди, яка завдана об'єкту від цього впливу. Саме так ми і будемо визначати ризик в цій статті. Екологічним ризиком або довірливим ризиком (environmental risk) будемо називати будь-який вид ризику, викликаний антропогенним впливом на довкілля.

Для визначення понять екологічної безпеки та екологічного ризику будемо спиратися на фундаментальні теорії – множин [4] та ймовірностей [5]. Вважаємо, що опис систе-

ми екологічної безпеки та екологічного ризику логічно починати з теорії множин. Для подальшого отримання конкретних результатів система має бути формально несуперечливою або сумісною (consistent), а тому і універсальною, повною, категоричною, тобто позбавленою протиріч і незалежною від виду та характеристик об'єкту дослідження.

Важливі засади закладені у теоремах Геделя (Gödel) про неповноту (incompleteness). В класичному розумінні Перша теорема Геделя стверджує, що у випадку, якщо формальна система арифметики несуперечлива, то в ній знайдеться формально нерозв'язне твердження, тобто така замкнута формула A , що ані A , ані $\neg A$ не є теоремами цієї системи. Відповідно до Другої теореми Геделя, замість A можна взяти формулу, яка природним чином висловлює несуперечливість формальної

арифметики. Ці теореми доводять, що для подолання антиномій у будь-якій множині (зокрема в системах), необхідно виходити за межі цієї множини. В даному випадку – створювати систему на більш високому рівні, тобто залучати до аналізу і формування співвідношень нові елементи. Довести істинність формули (формул), що є нерозв'язні в межах поточної системи, необхідно за допомогою засобів, що виходять за рамки системи. Прикладом може бути неможливість розуміння процесів життєдіяльності з урахуванням екологічно сталого розвитку (sustainable development) та екологічної безпеки (environmental safety) в рамках класичної економіки. Проте вихід за її межі, тобто надсистемний розгляд, дає відповіді на антиномії, що знаходяться всередині економіки.

Основна частина

Розглянемо тепер процеси в системі екологічної безпеки, в якій одразу відокремимо джерело небезпеки та об'єкт, на який спрямована ця небезпека. Здійснимо формалізацію для визначення показників матриці, що може бути утворена на основі визначення як джерела небезпеки, так і об'єкта. Будемо вважати, що об'єкти впливу A - біосфера, B - людство як біологічний вид, C - людство як інтелектуальна спільнота. Під біосферою ми розуміємо простір існування та функціонування земних організмів, що охоплює нижню частку атмосфери, всю гідросферу та поверхню суші. Будемо вважати, що джерело небезпеки α - всі наявні процеси в біосфері, β - вся наявна антропогенна діяльність, ζ - вся наявна техногенна діяльність. Логічно, що $C \subset B \subset A$ та $\zeta \subset \beta \subset \alpha$.

Відомо, що відповідно до теорії множин, потужність множин A, B, C , а також α, β, ζ є більшими будь яких множин, що є частиною цих множин. Тобто ми одразу оговорюємо, що між частинами множин зазначених вище множин та самими множинами відповідно не може бути встановлено взаємно-однозначна відповідність. Це уточнення необхідно також для практичного застосування елементів матриці. Відокремимо тепер відповідні частини множин A, B, C , а також α, β, ζ .

Будемо вважати відокремлені частини множин такими:

A' – не пов'язана з людською спільнотою;

α' – відноситься до неантропогенних процесів;

B' – не пов'язана з інтелектуальною діяльністю;

β' – не пов'язана з технічною діяльністю;

Приймемо $C' \subseteq C$ та $\zeta' \subseteq \zeta$.

Матриця, що містить елементи екологічної безпеки може бути представлена таким чином:

$$V = \begin{pmatrix} \alpha' A' & \alpha' B' & \alpha' C' \\ \beta' A' & \beta' B' & \beta' C' \\ \zeta' A' & \zeta' B' & \zeta' C' \end{pmatrix}$$

Приклади цих елементів екологічної безпеки наведемо в таблиці 1.

Тепер розглянемо систематизацію ризиків по видах наслідків впливу небезпечних об'єктів і розподілимо екологічні ризики на види, що відповідають природним сторонам життєдіяльності людини і суспільства. Беручи до уваги підвалини теорії множин, що розглянуті вище, будемо відокремлювати частини цих множин. Відокремлені множини будуть такими:

- ризик для здоров'я і життя людей, що виникає від техногенного забруднення довкілля – це еколого-гігієнічний ризик – R_{eh} ;

- ризик для біологічних ресурсів, що виникає від антропогенного впливу на природні екосистеми – це еколого-біологічний ризик – R_{eb} ;

Таблиця 1. Приклади елементів екологічної безпеки, що входять до матриці V

	A'	B'	C'
α'	$\alpha'A'$ зсуви у безлюдних місцях	$\alpha'B'$ сходження лавини в населених пунктах	$\alpha'C'$ пошкодження блискавкою серверів датацентрів
β'	$\beta'A$ антропогенне опустелювання	$\beta'B'$ промислове забруднення підземних вод	$\beta'C$ пошкодження електричної мережі в місті
ζ'	$\zeta'A'$ танення льодовиків	$\zeta'B'$ промислове забруднення повітря	$\zeta'C'$ негативний техногенний вплив на мозок людини

- ризик негативних наслідків для людина чи його частини від змін клімату, викликаних антропогенним впливом – це еколого-кліматичний ризик – R_{ec} ;

- ризик виснаження чи погіршення геологічних ресурсів, викликаний антропогенним впливом на геологічне середовище – це еколого-геологічний ризик R_{eg}

Будемо вважати, що будь який інший ризик $R_{nm} \subset R$.

Тому логічно, що приведений перелік ризиків є повним і інших екологічних ризиків поза межами множини R не існує. Тому, беручи до уваги цю тезу, ми стверджуємо, що значення інших можливих ризиків є нехтовно малими у порівнянні з переліченими. Тепер можна сказати, що цей набір екологічних ризиків (при зроблених припущеннях) цілком визначає систему екологічної безпеки. Користуючись цим, можна визначити необхідну складову сталого розвитку як екологічно безпечного розвитку (при якому усі екологічні ризики з приведенного повного набору мають прийнятний рівень величини).

Будемо вважати, що усі ризики з повного набору можуть бути визначені кількісно, у чисельному вигляді, причому в єдиних одиницях виміру. Тоді стає можливим порівняння ризиків між собою і знаходження пріоритетів при досягненні екологічно безпечного стану. Якщо кілька ризиків перевищують припустимий рівень, то пріоритетним повинно бути прагнення зменшити екологічний ризик, що має найбільше кількісне значення. Цим визначається стратегія дій по наблизенню суспільства і довкілля до стану екологічно сталого розвитку (sustainability).

В загальному плані вищенаведені ризики R можна розглядати як [6]:

- 1 – ризики деформації природи (nature deformation),
- 2 – вичерпання ресурсів,
- 3 – аварій.

Із цього одержуємо матрицю $\{R_{ik}\}$, в якій $i=1...5, k=1...3$. Розглянемо елементи цієї матриці на прикладах, що наведені у таблиці. 2.

Таблиця 2. Приклади елементів матриці ризиків $\{R_{ik}\}$

R_{eh}	R_{eb}	R_{ee}	R_{ec}	R_{eg}	
Деформація природи	Токсичне забруднення DR_{eh}	Природні мутації DR_{eb}	Зменшення рекреаційних зон DR_{ee}	Зміна клімату DR_{ec}	Утворення порожнеч DR_{eg} .
Вичерпання ресурсів	Дефіцит питної води ER_{eh}	Зменшення родючості ґрунтів ER_{eb}	Вичерпання корисних копалин ER_{ec}	Танення льодовиків ER_{ec}	Спотворення ландшафту ER_{eg} .
Аварії	Пожежа на хімічному підприємстві TR_{eh}	Зникнення біологічного виду TR_{eb}	Вибух на АЕС TR_{ec}	Лісові пожежі TR_{ec}	Можливі при надпотужній техногенній, або космічній катастрофі TR_{eg} .

Величина ризику R , створюваного деяким випадковим впливом, дорівнює добутку імо-

вірності цього впливу P на величину шкоди Q , що може виникнути в результаті впливу:

$$R = P \cdot Q. \quad (1)$$

Варто відзначити, що визначення ризику як добутку імовірності і шкоди досить повно відображає природу цього поняття і дозволяє, у випадку його коректного використання, обчислити об'єктивно існуючу величину ризику (при наявності необхідних вихідних даних).

Для будь-якого ризику R структурна схема буде виглядати наступним чином:

$$O \Rightarrow S \Rightarrow Q$$

Рисунок 1 – Виникнення ризику

O – об'єкт, що наприклад може бути локальним джерелом небезпеки. Символом S будемо позначати суб'єкт на який зазнає впливу. Символом Q будемо позначати шкоду. Ліва стрілка – це весь процес небезпечного впливу об'єкта на суб'єкт, права стрілка – наслідки цього впливу. Слід зазначити, що шкода може приймати різні значення – від нехтовно малого до знищення суб'єкту.

Зробимо визначення ризику R на прикладі еколого-гігієнічного ризику – R_{eh} . Для R_{eh} об'єктивним фактором шкідливого впливу можна вважати деяким чином усереднену за тривалий період часу величину концентрації $C_i(x,y)$ забруднювачів виду „і” в точці з координатами x,y . Визначення полів розподілу середніх концентрацій $C_i(x,y)$ проводиться або шляхом екологічного моніторингу, або розрахунковим шляхом – з використанням методів метеорології й аеродинаміки.

Таким чином, з проведеного розгляду впливає висновок, що за умови відсутності аварій процес випадкового зовнішнього впливу можна представити як детермінований процес – процес впливу постійно присутніх полів середніх концентрацій забруднювачів на населення, що мешкає на забрудненій території. Будемо називати екологічний ризик, що існує за таких умов, стаціонарним еколого-гігієнічним ризиком і позначати його $R_{eh}^s(C)$. Структурна схема такого ризику представлена на рисунку 2.

$$C \Rightarrow S \Rightarrow Q$$

Рисунок 2 – Структурна схема стаціонарного еколого-гігієнічного ризику

Для подальшого розгляду необхідна конкретизація внутрішнього процесу впливу забруднювачів на суб'єкт, показаного правою стрілкою на рисунку 2. Розглядаючи у якості останньої людський організм індивідуума, ми

повинні задавати вхідні параметри, що впливають на організм – концентрації C_i , і рес-труктурувати вихідні дані – зміни в стані здоров'я індивідуума, які достовірно спостерігаються і мають соціальну значимість. Виникнення захворювання, викликаного зовнішнім впливом, будемо розглядати як випадкову небезпечну подію, що має деяку імовірність походження. Результат хвороби приводить до деякої шкоди для здоров'я індивідуума, яку ми будемо вважати вимірюваною певним чином величиною. Питання про визначення величини шкоди від хвороби буде розглянуто нижче.

Нехай у найпростішій ситуації в результаті впливу забруднювача C у суб'єкта S за визначений період часу T може виникнути (або не виникнути) тільки один випадок захворювання, що позначимо буквою A . Імовірність захворювання хворобою A за період часу T будемо позначати $P(A)$. Зробимо спрощення – хвороба A буде мати, у випадку свого виникнення, тільки один результат для суб'єкта S , що визначається величиною шкоди $Q(A)$. Розрахункова структурна схема еколого-гігієнічного ризику при зроблених припущеннях має вигляд графа, показаного на рисунку 3.

$$C \Rightarrow S \Rightarrow A \Rightarrow Q(A) \quad P(A)$$

Рисунок 3 – Початкова розрахункова структурна схема еколого-гігієнічного ризику.

На цьому й інших подібних графах стрілки позначають процеси впливу чи виникнення, а напис над стрілкою позначає імовірність здійснення цього процесу. Відповідно до визначення (1), величина стаціонарного еколого-гігієнічного ризику тепер знаходиться як добуток імовірності $P(A)$ і шкоди $Q(A)$:

$$R_{eh}^s(C) = P(A) \cdot Q(A) \quad (2)$$

Рівняння (2) має ключове значення для поняття еколого-гігієнічного ризику. Воно дозволяє знайти в конкретному найпростішому випадку об'єктивну, повну і точну характеристику екологічної небезпеки, яку зазнає суб'єкт із боку екологічно небезпечного об'єкта.

Формальна структура рівняння (2) є загальноприйнятною і завжди використовується в тих випадках, коли можливі чисельні оцінки. Будемо називати формулу (2) стандартним визначенням ризику. Тепер приведемо цю формулу у відповідність з вимогами теорії ймовірностей.

При вивченні випадкових подій відповідно до вимог теорії ймовірностей необхідно, насамперед, виділити з них так званий повний набір несумісних подій, сума ймовірностей яких повинна дорівнювати 1. У зображеній на рисунку 3 розрахунковій схемі такого повного набору немає. Для одержання необхідного повного набору несумісних подій необхідно додати до зображеного на схемі процесу впливу інший, альтернативний процес, при якому захворювання А за період часу Т не виникає. Тоді ми одержимо розрахункову схему, зображену на рисунку 4.

На схемі позначимо $\bar{A} = \neg A$, тобто відсутність цього захворювання. Ймовірність $P(\bar{A})$ є ймовірність того, що захворювання А за період часу Т не виникне. Ймовірності $P(A)$ і $P(\bar{A})$ зв'язані співвідношенням:

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1 \quad (3)$$

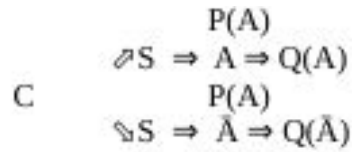


Рисунок 4 – Повна розрахункова схема еколого-гігієнічного ризику.

Оскільки відсутність захворювання не робить шкоди здоров'ю, то $Q(\bar{A})=0$. Обчислимо тепер математичне чекання шкоди здоров'ю $MQ(C)$, яку може отримати суб'єкт S від зовнішнього впливу, відповідно до розрахункової схеми рисунку 4. Відповідно до визначення [5], математичне чекання обчислюється по формулі:

$$MQ(C) = P(A)Q(A) + P(\bar{A})Q(\bar{A}) = P(A)Q(A) \quad (4)$$

Із (2) і (4) слідує співвідношення:

$$R_{eh}^s(C) = MQ(C) \quad (5)$$

Це означає, що еколого-гігієнічний ризик, створюваний зовнішнім впливом на індивідуум, дорівнює математичному чеканню шкоди здоров'ю індивідуума від цього впливу. Останнє твердження дає шукане вираження стандартного визначення поняття ризику через терміни теорії ймовірностей. Тепер зрозуміло, що еколого-гігієнічним ризиком, створюваним певним зовнішнім впливом на індивідуум, називається математичне чекання шкоди здоров'ю індивідуума, яку він може

одержати від цього впливу.

Наведений результат, отриманий при розгляді найпростішого випадку небезпечного впливу, буде справедливий і для будь-яких інших випадків впливу, що спостерігаються в реальному житті. Розглянемо такий більш складний випадок. Припустимо, що в результаті впливу індивідуум може занедужати тільки одним видом хвороби, як і в розглянутому випадку, але у хвороби можуть бути різні варіанти наслідків, що приводять до різних величин шкоди для здоров'я.

Розрахункова схема такого випадку наведена на рисунку 5.

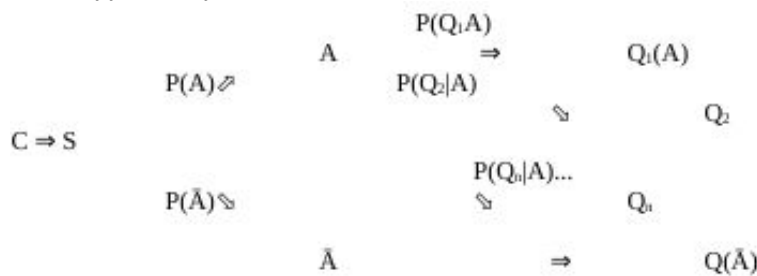


Рисунок 5 – Розрахункова схема складного випадку

Символами Q_1, Q_2, \dots, Q_n на цій схемі позначені n різних величин шкоди для здоров'я, до яких може привести захворювання А. Величини $P(Q_k|A)$ являють собою умовні ймовірності виникнення результату хвороби зі шкодою Q_k за умови, що захворювання А виникло. Сукупність усіх можливих наслідків зі

шкодами Q_k повинна утворювати повний набір несумісних подій і, отже, повинне бути:

$$\sum_{k=1}^n P(Q_k|A) = 1 \quad (6)$$

Обчислимо середню очікувану шкоду від зовнішнього впливу відповідно до схеми рисунку 5:

$$MQ(C) = \sum_{k=1}^n P(A)P(Q_k|A) Q_k + P(\bar{A}) Q(\bar{A}) = P(A) \sum_{k=1}^n P(Q_k|A) Q_k, \quad (7)$$

при цьому $MQ(A) = \sum_{k=1}^n P(Q_k|A) Q_k$, де $MQ(A)$ – середня очікувана шкода від хвороби A за умови, що хвороба A виникла. З цього слідує, що

$$MQ(C) = P(A)MQ(A). \quad (8)$$

Розрахунок величини стаціонарного еколого-гігієнічного ризику R_{ch}^s , виконаний за схемою рис. 5 з використанням стандартного визначення, дає:

$$R_{ch}^s = P(A)MQ(A). \quad (9)$$

З порівняння виразів (8) і (9), випливає, що й у цьому, складному випадку величина стандартного визначеного ризику збігається із середньою очікуваною шкодою. В більш загальному (більш складному) випадку зовнішній вплив може викликати кілька захворювань. Позначимо їх символами A_m , $m=1, 2, \dots, M$, де M – число можливих захворювань.

$$R_{ch}^s(C) = \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^n P(A_m) (Q_k|A) Q_k^m + P(\bar{A}) Q(\bar{A}) = \sum_{k=1}^n P(A_m) MQ(A_m) \quad (11)$$

де $MQ(A_m)$ – середня очікувана шкода від хвороби виду A_m за умови, що хвороба A_m виникла.

Екологічна сталість розвитку має визначитися балансом між індексом соціального розвитку і масштабами деформування природи, що заподіяні для вироблення цих соціальних благ [6-8]. В ідеальній системі створення благ і користування ними не мають спричиняти деформацію природи, тобто негативні зміни природних умов. В реальній системі необхідно визначити максимальну

Для простоти припустимо, що кожен суб'єкт може за розглянутий період часу занедужати тільки однією хворобою, і що хвороби A_1, A_2, \dots, A_M разом з відсутністю захворювань \bar{A} утворюють повний набір несумісних подій:

$$\sum_{k=1}^n P(A_m) + P(\bar{A}) = 1, \quad (10)$$

де $P(A_m)$ – імовірність занедужати хворобою виду m за період T .

Позначимо через Q_{mk} величини можливих шкод від хвороби A_m і через $P(Q_{mk} | A_m)$ – умовні ймовірності результату хвороби A з величиною шкоди Q_{mk} за умови, що хвороба A_m виникла. Крім того, будемо вважати, що число видів наслідків n не залежить від виду хвороби. При цих пропозиціях величина стаціонарного еколого-гігієнічного ризику, розрахованого як по стандартному визначенню, так і по визначенню через середню очікувану шкоду, буде дорівнювати:

межу допустимості цього впливу. Тобто необхідно ввести кореляційне співвідношення між індексом соціального розвитку та масштабом деформації природи. Тоді ризик R буде визначатися як математичне чекання перевищення кореляційного співвідношення. Верхня гранична точка для кореляційного співвідношення буде визначатися можливістю відновлення природних ресурсів. Логічно, що система є екологічно сталою, коли математичне чекання буде не перевищувати граничне значення кореляції.

Висновки

1. Екологічна безпека може оцінюватися шляхом системного врахування екологічних ризиків, яке спирається на фундаментальні теорії множин і ймовірностей, за умов використання максимально повних і точних статистичних даних.
2. Структура екологічних ризиків може бути виражена через систему матриць, які враховують всі об'єктивні та суб'єктивні фак-

тори природокористування.

3. Загальний ризик ухилення від екологічно сталою соціально-економічного розвитку можна оцінити як математичне чекання перевищення граничного значення кореляції між індексом соціального розвитку та масштабом деформації природних умов в процесі цього розвитку.

Перелік посилань

1. Report of the the World Commission on Environment and Development: Our Common Future - N.Y.: UN, 1989.
2. Хазан В.Б. Техногенна безпека як складова екосталого розвитку. / В.Б. Хазан // Екологія і природокористування: збірник наукових праць. - Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 2001. - Випуск 3. - С. 163-168.
3. Хазан В.Б. Горное дело в контексте устойчивого развития и экологический риск. / В.Б. Хазан // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників-2007". - Дніпропетровськ: НГУ, 2007. - С. 202-208.
4. Френкель А.А. Основания теории множеств / А.А. Френкель, А. Бар-Хиллел - Москва, 1966.
5. Прохоров Ю.В. Теория вероятностей. Основные понятия, предельные теоремы, случайные процессы / Ю.В. Прохоров, Ю.А. Розанов - Москва, 1967.
6. Хазан В.Б. До питання екологічної безпеки в контексті сталого розвитку: методологічні засади. / В.Б. Хазан // Екологія і природокористування: збірник наукових праць - Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 2003. - Випуск 5. - С. 62-68.
7. Хазан В.Б. Система показників для оцінки соціального розвитку на території з урахуванням природокористування. / Екологія і природокористування: збірник наукових праць. - Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 1999. - Випуск 2. - С. 20-27.
8. Стратегія і тактика сталого розвитку. / За ред. А.Г. Шапара. - Дніпропетровськ: Моноліт. - 2004. - 313 с.

*Стаття надійшла до редколегії 10.05.2013 р. українською мовою
Стаття рекомендована членом редколегії канд. техн. наук М.А. Ємцем*

В.Б. ХАЗАН*, П.В. ХАЗАН**

**Международный центр "ЭКОСТАР", г.Днепропетровск, Украина
**Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины,
г.Днепропетровск, Украина*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ
ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ**

Рассмотрена проблема рисков как одна из важнейших в парадигме устойчивого развития. Предложены пути и методы систематизации, структурирования и оценки рисков на основе фундаментальной математики.

Ключевые слова: экологически устойчивое развитие, экологическая безопасность, экологический риск, теория множеств, теория вероятностей.

V.B. KHAZAN*, P.V. KHAZAN**

** International centre ECOSTAR, Dnipropetrovsk, Ukraine
**Institute for Nature Management Problems and Ecology of National Academy
of Sciences of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine*

**DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL SAFETY ON THE BASIS
OF INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL RISKS**

The problem of risk as one of the most important paradigms of sustainable development was discussed. Ways and means of organising, structuring and risk assessment based on fundamental mathematical theories were offered.

Keywords: sustainable development, environmental safety, environmental risk, set theory, probability theory.